

Exhibit 1

Sanyo Technical Report

1/1

部品・デバイス特集 II

論文

DVD 用フレームタイプ赤色半導体レーザー

Frame Type Red Laser Diode for DVD

別所 靖之*

Yasuyuki Bessho

三宅 輝明*

Teruaki Miyake

西村 晋*

Susumu Nishizaura

上山 孝二*

Kohji Ueyama

秋吉 新一郎*

Shinichiro Akiyoshi

要 旨

高密度光ディスクである DVD (Digital Versatile Disk) の光源には波長 650nm 帯の AlGaInP 系赤色半導体レーザーが用いられている。我々は低価格化、薄型化に有効なフレームタイプで、DVD 用の高性能赤色半導体レーザーを開発した。

本素子では、歪補償型多重量子井戸活性層の採用や素子構造の最適化により、650nm 帯レーザーで 30mA という従来の約半分の低動作電流 (当社比) を実現した。また、受光素子とフレームの構造を新たに設計して放熱性の改善を行った。その結果、薄型 (2.4mm)、波長 655nm、光出力 5mW で 70°C の高温動作保証を可能とした DVD 用フレームタイプ赤色半導体レーザーを実現した。

Abstract

A 650nm-band AlGaInP red laser diode is the light source for DVD (Digital Versatile Disk) systems. We have developed red laser diodes for DVD with a frame type stem which enables us to achieve low cost and thin packaging.

A laser diode with a wavelength of 650nm-band and a lower operating current of 30mA is achieved by using the strain compensated MQW (Multi-quantum Well) active layer and optimizing the device structure. Furthermore, we improved thermal radiation from the laser chip with a new design of the photo-diode and the frame structure. We realized a red laser diode for DVD with thin frame type package of 2.4mm, wavelength of 655nm, light output power of 5mW, and high temperature reliability of 70°C.

【キーワード】

半導体レーザー, フレーム, DVD, AlGaInP

1. 緒 言

高密度光ディスクである DVD (Digital Versatile Disk, デジタル多用途ディスク) がパーソナルコンピュータを中心に、ビデオプレーヤ、カーナビゲーションシステム、ゲーム機などに多く搭載され始めている。DVD は CD と同じ $\phi 120\text{mm}$ のディスクに片面 4.7GB という CD 約 7 枚分もの情報を収めることができる。現在、DVD システムの光ピックアップ用光源としては、一般的にキャンタイプ^{*}の波長 650nm 帯 AlGaInP 系赤色半導体レーザーが用いられている。しかし DVD の普及に伴い、レーザーの高性能化 (低動作電流化、高温動作保証化、小型化など) と低価格化の要求が強くなってきている。

当社では、従来から CD、CD-ROM 用としてフレームタイプの AlGaAs 系赤外レーザーを、また DVD、DVD-

ROM 用としてキャンタイプの赤色レーザーを量産している。フレームタイプは一般的な IC フレームと同様、シート状の平面構造を持ち、従来のキャンタイプに比べて薄型・軽量化できるとともに、組立工程を大幅に合理化でき、低価格化に有効である。そのため、DVD 用赤色レーザーでもフレームタイプレーザーの開発が求められていた。しかし、フレームタイプはパッケージの成形に樹脂を用いているため金属製のキャンパッケージに比べると放熱に工夫が必要である。赤外レーザーに比較して高温で発光効率が低下する赤色レーザーをフレームタイプで実用化することは大きな技術課題であった。

我々は (1) レーザ素子の低電流化、(2) 高効率受光素子の開発、(3) 新型フレーム構造の採用により、量産性、低価格性に優れた新型のフレームパッケージで DVD 用高性能赤色半導体レーザーを開発した。以下に開

* 島根三洋電機株式会社 LED 事業部
Toshiba SANYO Electric Co., Ltd. LED Division

47
 開発したレーザの構造、開発技術、素子特性について述べる。

2. フレームタイプレーザの構造

図1に開発したDVD用フレームタイプ赤色半導体レーザ（以下、本素子と記す）の外観写真を、図2(a)にその構造模式図を示す。また比較のためキャンタイプレーザを図2(b)に示す。図中、ワイヤは省略している。フレームタイプの部品構成としてはレーザ素子、受光素子（PD: Photo-diode）を内蔵したSIヒートシンク、樹脂モールドされたフレームパッケージからなる。レーザ素子はフレーム平面上にマウントされ、レーザビームはフレーム面と平行方向に射出される。フレームの一部は放熱フィン及びリードピンとして用いられる。一方、キャンタイプはレーザ素子、PD、ヒートシンク、ステム、キャップから構成される。ステムにはリードピンがガラス封入にて取り付けられ、また、キャップにはガラスの光学窓が装着され、レーザビームは光学窓から垂直に射出される。このようにキャンタイプはフレームパッケージに比べると複雑な構造である。本素子は厚みが2.4mmと従来のキャンタイプ（φ5.6mm）の半分以下となっている。

図3にレーザ素子の構造を示す。本素子は結晶成長に減圧MOCVD（有機金属気相成長法）を用い、n-GaAs基板の上にn-GalnPパッファ層、n-AlGaInPクラッド層、活性層、p-AlGaInPクラッド層、p-GaAsキャップ層を順次積層させた構造を有する。そして、p-AlGaInPクラッド層においてエッチングによりリッジを形成し、そのリッジをn-GaAsブロック層で埋め込むことにより電流狭窄を行っている。レーザ光はリッジ下部の電流狭窄された活性層部分から射出する。また、素子の端面には保護及び反射率制御のためコーティングを施しており、

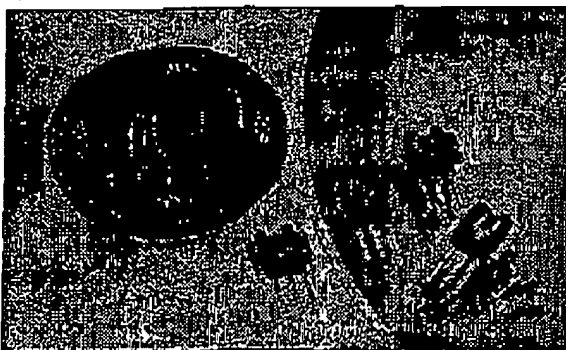


図1 DVD用フレームタイプ赤色半導体レーザ
 Fig. 1 Photograph of frame type red laser diodes for DVD

レーザ発振の効率を上げるため後端面を高反射率としている。

3. 開発技術

DVD用赤色レーザに求められる要素の中で、基本特性の他に、70℃以上の高温で安定動作すること、またパッケージが小型（薄型）であることが重要である。これらの要求をフレームタイプで実現するため、レーザ素子の低電流化、高感度受光素子の開発、新型フレーム構造の採用を行った。

3.1 レーザ素子の低電流化技術

赤色レーザは、活性層とp型クラッド層間での伝導帯側ヘテロ接合が赤外レーザに比較して弱いため、活性層からp型クラッド層への電子のオーバフローにより、高温時での動作電流の上昇が大きくなる。そのため、樹

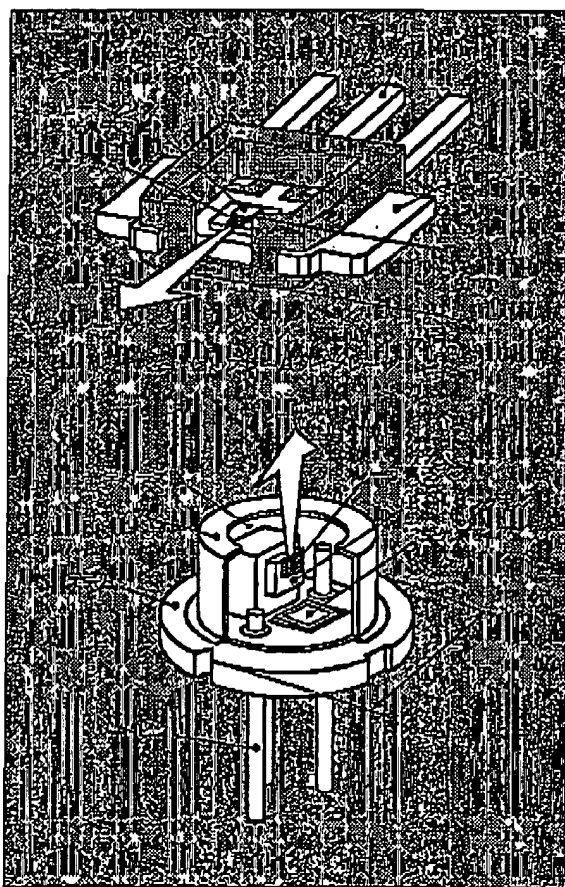


図2 半導体レーザの構造模式図
 Fig. 2 Schematic structure of the laser diode

DVD用フレームタイプ赤色半導体レーザ

部品・デバイス・材料

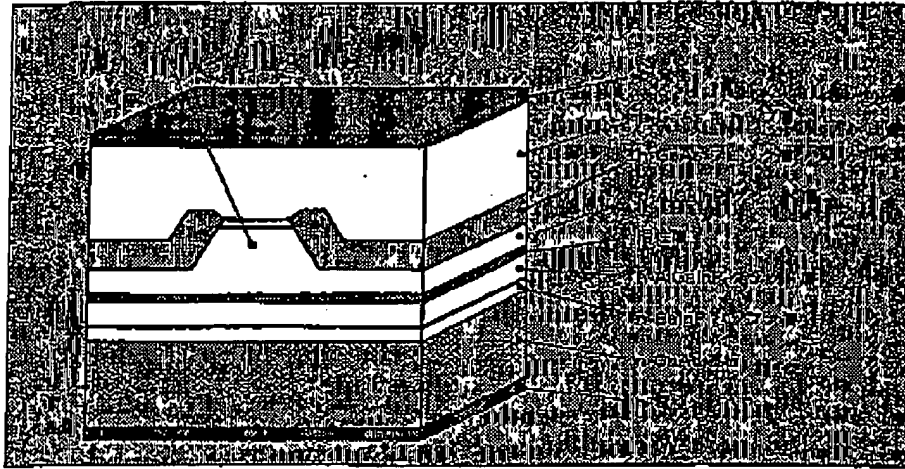


図3 レーザ素子構造

Fig. 3 Schematic structure of the laser diode chip

脂モールドを用いるフレームパッケージで70℃以上の高温動作保証を実現することは困難であった。そこで素子内部からの発熱（消費電力）を下げるため、亜補償型多重量子井戸活性層の採用及び素子構造の最適化により、動作電流の低減を行った。

3.1.1 亜補償型多重量子井戸活性層の採用

多重量子井戸 (MQW: Multi-quantum Well) 構造とは、100Å以下の極薄膜からなる量子井戸層と量子障壁層を交互に複数積層させたものである。この構造を半導体レーザの発光部である活性層に用いると、低電流化に有効となる¹⁾。また亜MQW構造は、量子井戸層の格子定数を意図的にずらせたもので、歪応力により価電子帯

のバンド構造が変化し、正孔（ヘビーホール）の有効質量が減少するため、より少ないキャリアでレーザ発振が可能となる²⁾。しかし、あまり大きな歪を導入すると結晶に転位欠陥が発生し、特性は逆に劣化する。

そこで我々は井戸層に歪を入れ、更に障壁層にその逆の歪を入れる亜補償型MQW構造を採用した。これにより活性層内の総歪量を補償し、本来結晶欠陥が発生する歪量よりも大きな歪を導入することに成功した³⁾。その簡単な模式図を図4に示す。今回のDVD用レーザでは、格子整合のとれた組成 $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ に対し、井戸層にInを増加させた格子定数の大きな層を、障壁層には逆に格子定数の小さな層を用いた。その結果として井戸層

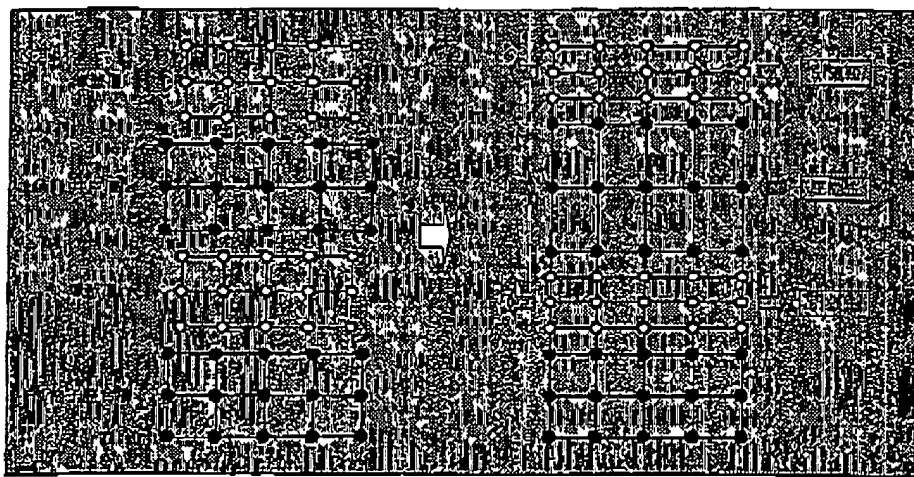


図4 亜補償型量子井戸構造の模式図

Fig. 4 Schematic diagram of the strain compensated quantum well structure

には圧縮歪が、障壁層には引張歪が導入され、互いの歪を補償し、活性層全体の歪を抑制することができる。この歪補償型構造により、結晶欠陥を発生させることなく井戸層に従来のより大きな歪を導入することができ、動作電流を低減することができた。

3.1.2 素子構造の最適化

従来レーザ素子の温度特性を改善するためには、素子内部での電流密度を低減するために共振器長を長くすることが一般的であった。しかし、その場合動作電流は増加するという問題があり、フレームパッケージのように放熱性が良くない構造では、いかに消費電力を小さく抑えるかが重要である。我々は70℃での高温度特性が維持されつつ、動作電流が小さくなるよう素子の共振器長を最適化した。

図5に25℃及び70℃において、光出力を5mW一定とした場合のレーザ素子の動作電流と共振器長の関係を示す。25℃においては共振器長が600μmから短くなるにしたがい、動作電流が減少し続けていく。一方、70℃においては共振器長が300μmまで動作電流は減少するが、200μmになると逆に増加してしまう。これより、共振器長としては300μmが最適であると判断した。更に、発光効率が向上するよう活性層近傍のAl組成、量子井戸の層数、リッジ形状などを見直し、動作電流の低減をはかった。

3.2 高感度受光素子の開発

従来のキャンタイプレーザでは、光出力のモニタ用として図2(b)に示すようにレーザ素子だけでなく別に光出力モニタ用の受光素子(PD)を内蔵している。PDは材料にSiを用い、PIN接合を形成している。PDとモニ

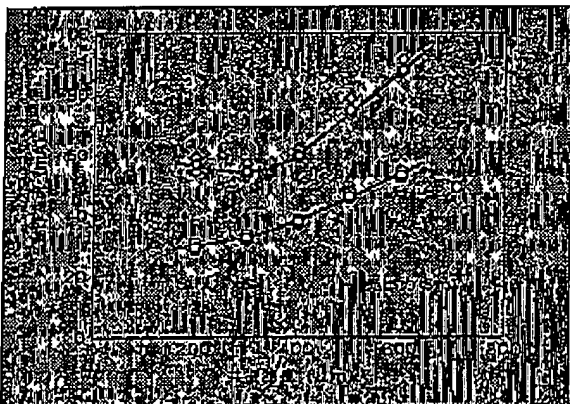


図5 レーザ素子の共振器長と動作電流の関係

Fig. 5 Relationship between the cavity length and operating current

タ光の位置関係を図6に示す。キャンタイプの場合、図6(b)のように、レーザ素子の後端面から出射した光がPDに垂直に入射するため、入射光量が大きい。一方フレームタイプレーザの場合、パッケージの厚みが厚く、平面上に組み立てを行うため、キャンタイプのような構造は取れない。そのため図6(a)に示すように、PDを内蔵したSiヒートシンクを用いることとした。この構造の場合、PDへレーザ光は斜め入射となるため、入射光量が減りモニタ電流(I_m)が低下する問題がある。

また赤色レーザは放熱性を良くするため、発光(発熱)する部分である活性層を含む接合部をヒートシンクに近づけて組み立てるジャンクションダウン構造をとる。つまり、レーザ素子の発光位置がPD表面に近接することになる。そのため、光出力モニタ用のレーザ光を出射する素子後端面とPD受光面との距離が L_m に大きく影響する。

今回、レーザ素子端面とPD受光面の距離を最適化するとともに、ガウスビーム⁽¹⁾が斜め入射した場合に650nm帯の波長に対して高感度となるようPD表面の反射防止(AR: Anti-Reflection)膜のシミュレーションを行った。図7に、従来のAR膜(キャンタイプレーザ用PDと同設計)、及び今回設計したAR膜を用いたPDヒートシンクにおけるレーザ素子後端面とPD受光面の距離を変化させたときの I_m 値を示す。素子端面がPD

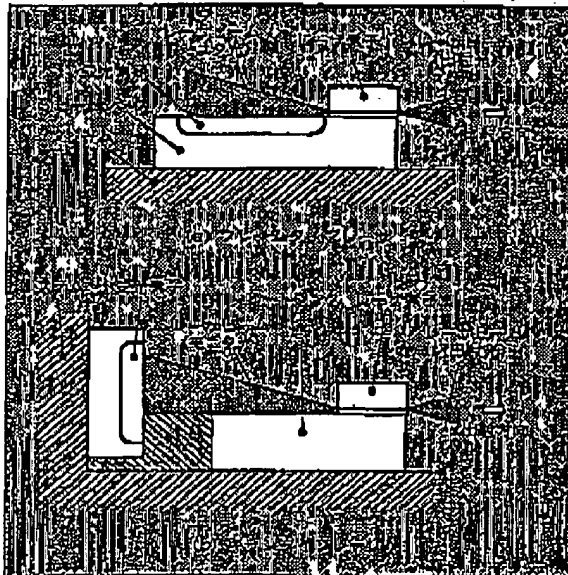


図6 受光素子とモニタ光の位置関係

Fig. 6 Relationship of the position between the photo-diode and monitoring beam

DVD用フレームタイプ赤色半導体レーザー

部品・デバイス特集 II

受光面上にある場合 I_m はほとんど変化せず、受光面から離れるにしたがい減少する。 I_m をできるだけ大きくするにはレーザー素子をPD受光面に近づけたほうが良いが、組み立て精度や素子サイズのばらつきを考慮し、前記両者の距離設定を50 μ mとした。また、新たに設計したAR膜を用いた場合、従来設計に比べて I_m を約2倍に増加できた。その結果、0.1mAという実用上問題のない I_m 値が得られた。

3.3 新型フレーム構造の採用

フレームタイプレーザーは、1枚のフレーム中に数十個の素子をX-Y平面上で連続して組み立てができるという特徴がある。そのため、1個ずつ組み立てる従来のキャンタイプと比較して複雑な工程が不要となり、生産効率を大幅に改善できる。更に薄型化に対しても有効である。この特徴を活かし、当社ではフレームタイプの赤外レーザーを基盤してきた。しかし、赤色レーザーは高温で発光効率が低下するため、赤外レーザーに用いているフレームをそのまま用いてもフレームタイプは実現できなかった。そこで、赤色レーザー用として放熱性に優れた新型フレーム構造を設計した。

赤外レーザーに用いているフレームパッケージは、放熱体（金属部）の体積がキャンパッケージの1/4と小さい。レーザーの温度特性⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾を改善するには放熱体の体積を増やすことが効果的であり、その方法としてもっとも簡単なのはパッケージサイズを大きくすることである。しかし、まず幅（放熱フィン幅）についてはレーザーを使用する光ピックアップからの制約があるため、フレームタイプ赤外レーザーと同じ6.8mmとした。同様に奥行き

（レーザー光射出方向）も大きくはできない。その結果、放熱体の体積を増やすためにフレームの厚板化という手段を考えた。しかし、フレームを厚くするとリードピン部分が近接しているため、金型で打ち抜けなくなるという問題がある。この問題を解決するため、レーザー素子・ヒートシンクをマウントする部分を厚く、リードピン部分を薄くした段差構造を有するフレームを採用した。厚さは厚い部分を0.8mmと従来のCD用レーザーフレーム(0.4mm)の2倍、薄い部分を0.6mmとした。これにより、従来のCD用レーザーのフレームパッケージとほぼ同じ大きさで放熱体の体積を約2倍にすることができた。また、フレームの形状においても素子からの熱が直接放熱フィンに伝わりやすい形状に変更した。更に板厚が厚いことで、光ピックアップへの挿入時の応力に対する強度も改善した。

4. 素子特性

開発したDVD用フレームタイプ赤色レーザーの電流-光出力 ($I-L$) 特性の温度依存性を図8に示す。室温におけるしきい値電流は20mA、光出力5mWでの動作電流は30mAである。低電流レーザー素子の開発や放熱性の優れた新型フレーム構造の採用により、動作電流は従来の1/2に低減できた（当社〈DL-3147-161〉比）。また70℃、5mWにおいても動作電流は約45mAと、従来の約1/2となった。5mW時のレーザービームの広がり角度は、垂直方向が30°、水平方向が8°（それぞれ半値全角）、またモニタ電流は0.1mAと光ピックアップ用として問題のない値が得られた。

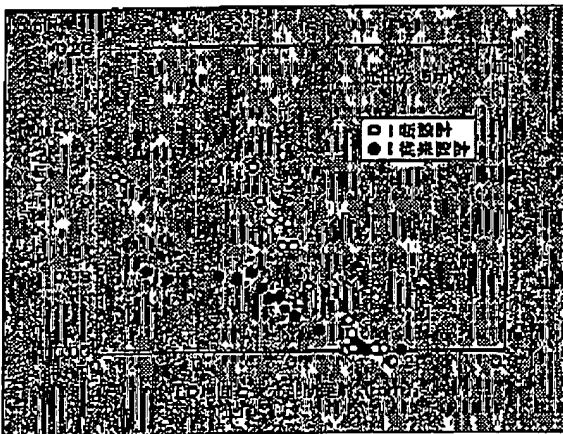


図7 LD端面と受光部間距離を変えたときのモニタ電流の変化
Fig. 7 I_m variation when changing the length between LD facet and detector

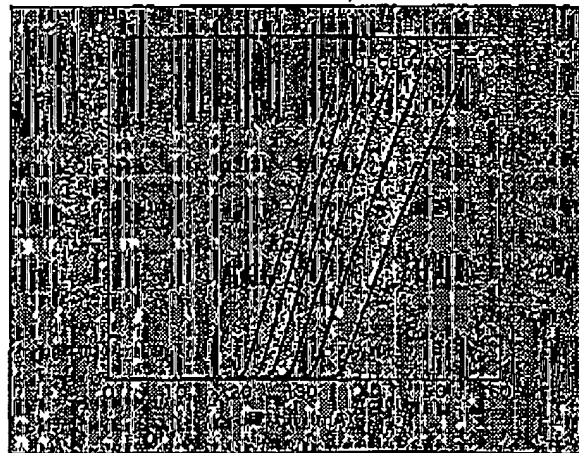


図8 電流-光出力特性の温度依存性
Fig. 8 Temperature dependence of $I-L$ characteristics

図9に高周波重畳をかけたときの発振スペクトルを示す。本素子を含め、一般的にDVD用レーザのスペクトルは本来シングルモード⁽⁴⁾であるが、光ピックアップに用いる場合、光ディスクからの戻り光ノイズが問題となるため、干渉性を下げる必要がある。通常は外部回路を用いて高周波重畳⁽⁵⁾をかけることにより、スペクトルがマルチモードになり、ノイズ特性が改善できる。本素子でも問題なく重畳がかかることが確認できた。また、図10に高周波重畳をかけたときの戻り光ノイズ特性を示す。相対雑音強度は -130dB/Hz 以下であり、実用上問題のないノイズ特性が得られている。

図11に信頼性試験結果を示す。70°C、5mWで2000時間以上安定に動作することが確認できた。

5. 結 言

今回、DVD用フレームタイプAlGaInP系赤色半導体レーザを開発した。型補償型MQW活性層の採用、素子構造の最適化によるレーザ素子の低電流化、DVD用高周波SPDの開発、放熱性に優れた新型フレーム構造

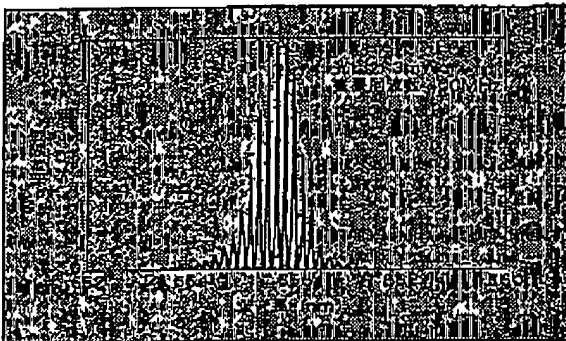


図9 発振スペクトル
Fig. 9 Oscillation spectrum

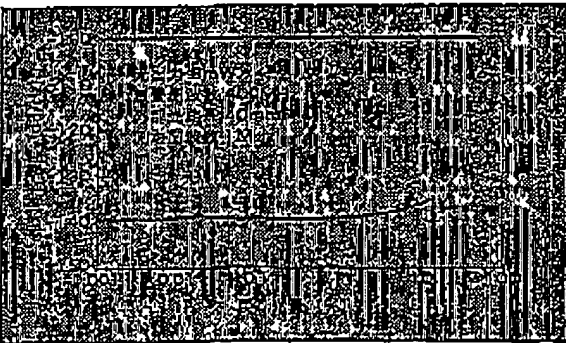


図10 戻り光ノイズ特性
Fig. 10 Optical feedback noise characteristic

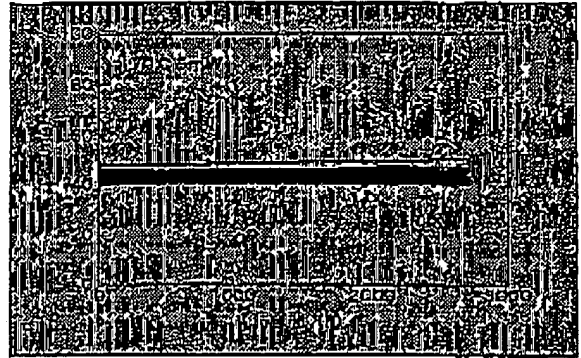


図11 信頼性試験
Fig. 11 Life time test

の採用により、発振波長655nm、光出力5mWで70°Cの高温度保証を可能としたフレームタイプレーザを実現した。パッケージは厚さ2.4mmの薄型で、動作電流も30mAと従来の1/2に低減できた。また重畳特性も問題なく、戻り光に対して良好なノイズ特性が得られた。

フレームタイプレーザはキャンタイプに比べ生産性に優れ、低価格化に有効であるだけでなく、薄型化ができるため、市場でも期待されている。今後はレーザ素子の更なる低電流化を図り、高温度保証を達成していくとともに、CD-R/RWやDVD-R/RWなど記録型光ディスクシステム用光源に用いる高出力レーザにもフレームパッケージ化を展開していく予定である。

最後に、本開発にあたり、ご指導・ご協力いただいた関係各位に深く感謝する。

用 語 解 説

◆ガウスビーム

光軸に直角な断面において光軸からの距離に対して、光の強度分布がガウス型をしている光ビーム。

◆レーザの温度特性

レーザの温度変化に対する特性の総称。一般的に、温度変化に対して動作電流の変化が小さい場合、温度特性が良いと言うことが多い。

◆シングルモード

レーザのスペクトルが単一モードの状態。この場合、レーザ光の干渉性は強い。反対にマルチモードは複数のモードで発振している状態で、干渉性は弱くなる。

◆高周波重畳

レーザの駆動電流に高周波を重ね合わせること。光ピックアップの場合、一般的に200~400MHz程度の高周波を重ねることが多い。

DVD用フレームタイプ赤色半導体レーザー

部員・デバイス特集 II

参 考 文 献

- 1) M. Shono, H. Hamada, S. Honda, R. Hiroshima, K. Yodoshi, T. Yamaguchi : "Low-Threshold 630nm-Band AlGaInP Multiquantum-Well Laser Diodes Grown on Misoriented Substrates", Electron. Lett., Vol. 28, pp.805-806 (1992).
- 2) A. Valster, C. J. van der Poel, M. N. Finke, M. J. B. Boermans : "Effect of Strain on the Threshold Current of GaInP/AlGaInP Quantum Well Lasers Emitting at 633nm", 19th IEEE Int. Semiconductor Laser Conf., G-1, pp.152-153 (1992).
- 3) Y. Bessho, T. Uetani, R. Hiroshima, K. Komeda, M. Shono, A. Ibaraki, K. Yodoshi, T. Niina : "Self-pulsating 630nm band strain-compensated MQW AlGaInP laser diodes", Electron. Lett., Vol. 32, No.7, pp.667-668 (1996).
- 4) S. Honda, T. Miyake, T. Ikegami, K. Yagi, Y. Bessho, R. Hiroshima, M. Shono, M. Sawada : "Low threshold 650nm band real refractive index-guided AlGaInP laser diodes with strain-compensated MQW active layer", Electron. Lett., Vol. 36, No.15, pp.1284-1285 (2000).

著 者 紹 介



黒木 隆之 1985年入社。半導体レーザーの開発に従事。現在、鳥取三洋電機株式会社 LED 事業部 開発部 レーザ開発課 主任技術員。応用物理学会会員。



黒木 隆之 1990年入社。半導体レーザーの開発に従事。現在、鳥取三洋電機株式会社 LED 事業部 開発部 レーザ開発課 主任技術員。



西村 晋 1986年入社。受光素子の開発に従事。現在、鳥取三洋電機株式会社 LED 事業部 開発部 オプト開発課 主任技術員。応用物理学会会員。



上山 孝二 1999年入社。半導体レーザーの開発に従事。現在、鳥取三洋電機株式会社 LED 事業部 技術二部 レーザ技術課に勤務。



秋吉 新一郎 1987年入社。半導体レーザーの開発に従事。現在、鳥取三洋電機株式会社 LED 事業部 技術二部 レーザ技術課に勤務。

Figure 5 shows a relationship between an operating current and a length of a resonator in a laser element when an optical output is set to be 5mV in case where the temperature is 25° C and 75° C. When the temperature is 25° C, the operating current decreases as the length of the resonator shortens from 600 μ m. On the other hand, when the temperature is 75° C, although the operating current decreases as the length of the resonator shortens to 300 μ m, the operating current increases as the length of the resonator shortens from 300 μ m to 200 μ m. From this phenomenon, it is concluded that the most preferable length of the resonator is 300 μ m.